

производства специальных фасонных профилей небольшими партиями вынуждает потребителя производить их альтернативными способами – обработкой резанием, штамповкой и др., что приводит к значительным денежным затратам и также снижает конкурентоспособность продукции.

Сохранение сложившейся структуры сортамента сортового проката, производимого металлургическими предприятиями Украины, может привести к значительному уменьшению количества внутренних потребителей сортового металлопроката в Украине – за счет прекращения работы еще действующих машиностроительных предприятий вследствие неконкурентоспособности их продукции. Это, в свою очередь, вынудит металлургические заводы Украины в еще большей мере переориентироваться на экспорт. Пагубность такого решения для самих металлургов очевидна в свете последствий недавнего мирового финансово-экономического кризиса.

Основным направлением развития украинских металлургических предприятий на ближайшие годы должно стать повышение эффективности производства – модернизация основного технологического оборудования, внедрение новых энерго- и ресурсосберегающих технологий, снижение затрат по переделам, развитие внутреннего рынка металлопродукции. Необходимо восстановить влияние государства на формирование научно-технической политики в отечественной металлургической отрасли. Тогда производители смогут поддержать конкурентоспособность продукции на внешних рынках и обеспечить себе достаточно высокую прибыль даже при условии выпуска и продаж стальной продукции с относительно небольшой добавленной стоимостью.

**Список литературы:** 1. Минаев А.А. Идеи на прокат / А.А. Минаев, Ю.В. Коновалов // Металлургический компас Украина–Мир. – 2009. – №7. – С. 2–12. 2. Минаев А.А. Возрождение металлургии в Украине невозможно без приоритетного развития прокатного производства / А.А. Минаев, Ю.В. Коновалов // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №7. – С. 143–144. 3. Большаков В.И. Направления развития металлургического комплекса Украины / В.И. Большаков, Л.Г. Тубольцев // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии: сб. научн. тр. ИЧМ НАН Украины. – Днепропетровск: Візюн, 2010. – Вып. 21. – С. 3–20. 4. Мазур В.Л. Металургія України: стан, конкурентоспроможність, перспективи. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2010. – №2. – С.12–16.

**УДК 621.77.016.3 : 621.771.06 – 114**

**КАПЛАНОВ В.И.**, докт. техн. наук, проф., ПГТУ, Мариуполь  
**ПРИСЯЖНЫЙ А.Г.**, ст. препод., ПГТУ, Мариуполь

## **СТАБИЛИЗАЦИЯ УСЛОВИЙ ХОЛОДНОЙ ТОНКОЛИСТОВОЙ ПРОКАТКИ НА НЕПРЕРЫВНЫХ СТАНАХ**

В статье предложен и теоретически строго обоснован новый способ холодной прокатки тонколистовой стали на непрерывных станах, позволяющий стабилизировать условия деформации металла при увеличении скорости его пластического формоизменения.

**Ключевые слова:** коэффициент трения, стабилизация, скорость прокатки, предельная скорость, шероховатость, асимметричный режим, валки.

У статті запропонований і теоретично строго обґрунтований новий спосіб холодного прокатування тонколистової сталі на безперервних станах, що дозволяє стабілізувати умови деформації металу при збільшенні швидкості його пластичного формозмінення.

**Ключові слова:** коефіцієнт тертя, стабілізація, швидкість прокатування, гранична швидкість, шорсткість, несиметричний режим, валки.

In the article offered and strictly grounded the new method of the cold rolling of thin-sheet steel on continuous mills, allowing to stabilize the terms of deformation of metal at the increase of speed of his plastic change of form.

**Keywords:** coefficient of friction, stabilizing, speed of rolling, maximum speed, roughness, asymmetrical mode, fellings.

**Введение.** Актуальной задачей при совершенствовании технологии получения холоднокатаных тонких полос является повышение производительности прокатного стана. Успешное решение этой задачи возможно за счет увеличения скорости прокатки, при котором возрастает вероятность самопроизвольного возникновения вибрации (чаттер), дестабилизирующей процесс деформации металла и оказывающей отрицательное влияние на качество поверхности проката.

**Анализ последних публикаций и постановка проблемы.** Несмотря на многочисленные исследования вибрации на станах холодной тонколистовой прокатки, природа ее происхождения изучена еще недостаточно полно. Анализ работ [1,2] позволяет выделить в качестве одной из основных причин появления автоколебаний при прокатке нарушение условий контактного трения в очаге деформации. Влияние конструкции валковых узлов рабочих клетей станов холодной прокатки тонких полос на стабильность процесса деформации металла рассмотрено автором публикации [3]. При этом возбуждение вибрации и связанное с ней возникновение светлых и темных чередующихся полосок (ребристость) на поверхности холоднокатаных полос объясняется нестабильностью положения рабочих валков, которая по данным работы [3] обусловлена изменением (колебанием) силы натяжения полосы в межклетевых промежутках. Параметры прокатки такие, как обжатия по клетям и силы натяжения между клетями, также имеют немаловажное значение при изучении механизма самовозбуждения колебаний [4]. При этом, как показывают результаты многолетних экспериментальных исследований процесса высокоскоростной тонколистовой прокатки [4], увеличение коэффициента контактного трения в очаге деформации способствует стабилизации пластического формоизменения металла и повышению устойчивости к виброколебаниям. Таким образом, решение задачи, связанной с прогнозированием и предотвращением возникновения явления резонансных колебаний при холодной прокатке тонких полос, является в настоящее время довольно актуальным.

**Формулировка цели статьи.** Целью данной научной работы является разработка на базе динамики холодной тонколистовой прокатки эффективного способа деформации металла, который обеспечит стабильные условия его пластичного формоизменения на непрерывных станах.

**Изложение основного материала статьи.** Математическая модель контактного трения в очаге деформации при непрерывной прокатке позволяет определять основные показатели трения и, в том числе один из важных параметров, коэффициент контактного трения. Перспектива постепенного развития и освоения технологии высокоскоростной холодной тонколистовой прокатки связана, в первую очередь, с созданием стабильных условий деформации полос во всех клетях непрерывного стана.

Управлять процессом стабилизации можно как в целом во всех клетях, так и локально, выборочным методом, в отдельных клетях, но преимущественно в предчистовых и чистовых клетях, где процесс прокатки достигает максимальной скорости. В этом случае контактное взаимодействие поверхности рабочих валков с поверхностью прокатываемой полосы должно находиться на оптимальном уровне, то есть коэффициент трения, который как показывает многолетний опыт исследования процесса высокоскоростной прокатки, существенно уменьшается, но в пределе должен составлять полностью определенную, критическую величину, ниже которой процесс прокатки становится невозможным и в принципе недопустимым. При этом предельное значение коэффициента трения по закону Г.Амонтона составляет около 0,03, а по условию Э.Зибеля, определяется следующим образом [4]:

$$f = k_{nc} f_p, \quad (1)$$

где  $f$  и  $f_p$  – коэффициенты трения соответственно по условию Зибеля и по закону Амонтона;

$k_{nc}$  – коэффициент напряженного состояния металла в очаге деформации.

В реальных условиях процесс прокатки должен обеспечить несколько большие значения предельных коэффициентов трения, чтобы гарантировать достаточно высокую надежность деформации полос на высокой скорости.

В перспективе созданные специальные условия, и в первую очередь, это установление гетерогенного режима трения на допустимом уровне, позволят освоить технологию непрерывной и «бесконечной» тонколистовой холодной прокатки со скоростью до 60-75 м/с. В общем виде качественная математическая модель силы контактного трения в деформационной зоне при гетерогенном режиме трения представлена в литературе [4].

При создании отмеченного выше режима трения между валками и прокатываемой полосой практически обеспечивается симметричная прокатка при всех других равных условиях деформации. С увеличением скорости прокатки симметричность сохраняется, контактное трение в гетерогенном режиме также сохраняется между рабочими валками и прокатываемой полосой, но существенно снижается, и процесс тонколистовой прокатки достигает предельных условий, что может привести к недопустимым микропробуксовкам.

Для надежного и гарантированного сохранения стабильности была поставлена задача разработать процесс и усовершенствовать конструкцию высокоскоростного прокатного стана для холодной прокатки тонких полос, в котором за счет изменения состояния поверхности рабочих валков в предчистовой клетки непрерывного стана создаются разные условия гетерогенного

трения на контакте между верхним и нижним рабочими валками, то есть возникает процесс асимметричной прокатки.

Асимметричный режим прокатки, возникший в предчистовой клетки, сохраняется и в чистовой клетки, поскольку прокатываемая полоса имеет разную микрогеометрию с верхней и нижней стороны поверхности, повторяя таким образом режим контактного взаимодействия рабочих валков с полосой, при этом интегральная сила трения имеет несколько большее значение, что в некоторой степени гарантирует стабильность высокоскоростной прокатки.

Сохранение асимметричных условий прокатки в этих клетях также способствует снижению сопротивления металла пластической деформации.

Таким образом, для реализации отмеченных выше теоретических представлений на непрерывном пятиклетевом стане холодной прокатки тонких полос рабочие валки в предчистовой клетки выполнены с разным состоянием поверхности, а именно, один (верхний) рабочей валок – насеченный, второй (нижний) – шлифованный.

Такая технология прокатки с установкой валков с разной шероховатостью поверхности обеспечит стабильный процесс деформации металла на высокой скорости [5].

Это достигается тем, что при прокатке в предчистовой клетки валки имеют разную шероховатость, которая и характеризуется разным значением коэффициента трения:

$$\Delta f = f_n - f_{ш}, \quad (2)$$

где  $f_n$  и  $f_{ш}$  – соответственно коэффициент трения в очаге деформации при прокатке в насеченных и шлифованных валках.

В отличие от существующей конструкции многоклетевых прокатных станов, когда в предчистовой клетки применяются рабочие валки со шлифованной поверхностью, предложенный стан обеспечивает, в полном соответствии с современной теорией трения, более высокий уровень сил трения в очаге деформации со стороны одного из валков и, таким образом, создает условия надежного и стабильного гетерогенного режима трения, и в результате обеспечивается необходимый режим высокоскоростной деформации, то есть снижается вероятность микропробуксовок и возникновение резонансных колебаний при прокатке.

Прокатываемая в предчистовой клетки полоса имеет с одной стороны шероховатую (насеченную) поверхность и, таким образом, повышает общий уровень сил трения в очаге деформации последней (чистовой) клетки, что и создает стабильные условия прокатки, отодвигая предельную скорость к большему значению и повышает надежность работы непрерывного стана.

Такая технология высокоскоростной холодной прокатки тонких полос в двух последних клетях, как было показано выше, осуществляется при некоторой разнице коэффициентов контактного трения между полосой и поверхностью соответственно верхнего и нижнего рабочих валков. При такой разнице процесс прокатки осуществляется в асимметричном режиме, при этом уменьшаются нормальные контактные напряжения (давление металла на валки) в

деформационной зоне и в некоторой степени компенсируется влияние насеченной с одной стороны поверхности валков, что практически не изменяет напряженно-деформированного состояния по сравнению с прокаткой тонких полос на существующих станах.

Многолетние системные исследования процесса высокоскоростной холодной прокатки тонких полос позволили экспериментально определить основные закономерности изменения коэффициента трения в зависимости от состояния поверхности валков и скорости прокатки. Таким образом, была установлена связь между коэффициентами трения при холодной прокатке стальных полос в насеченных и шлифованных рабочих валках в виде эмпирической зависимости [4]:

$$f_n = f_{ш} \nu(0,017\varepsilon_c + 0,0106) + 1, \quad (3)$$

где  $\nu$  – скорость прокатки, м/с;

$\varepsilon_c$  – суммарное относительное обжатие полосы.

Экспериментально установлено, что при прокатке полос со скоростью 4,5 м/с в насеченных валках коэффициент трения на 8-10% больше, чем в шлифованных. С увеличением скорости прокатки эта разница между коэффициентами трения увеличивается и, например, при скорости 30 м/с составляет 40-65% и чем больше разница, тем выше предельная скорость прокатки, методика расчета которой в зависимости от всех основных факторов высокоскоростной холодной прокатки тонких полос приведена в монографии [4].

Как показали исследование и расчеты, предельная скорость в насеченных валках составляет 60-75 м/с.

Таким образом, достижение предельной скорости прокатки исключается и гарантируется высокоскоростная прокатка на непрерывном стане в режиме «бесконечной» прокатки со скоростью 40-50 м/с.

**Вывод:** разработан способ холодной тонколистовой прокатки, что позволяет стабилизировать процесс деформирования металла на высоких скоростях; при этом обеспечены условия асимметричной прокатки в последних клетях прокатного стана, которая способствует некоторому снижению энергосиловых параметров процесса деформации.

**Список литературы:** 1. Рыбаков Ю.В. Определение источников вибрации, вызывающих явление резонанса на станах холодной прокатки / Ю.В. Рыбаков, Г.Н. Субботин // Производство проката. – 2003. – №10. – С.13-16. 2. Пименов В.А. О причинах нарушения устойчивости холодной прокатки / В.А. Пименов // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1990. – №8. – С.36-38. 3. Гарбер Э.А. Влияние конструктивных валковых узлов широкополосных станов на вибрации рабочих клеток и ребристость холоднокатаных полос / Э.А. Гарбер, В.П. Наумченко // Производство проката. – 2002. – №2. – С.9-12. 4. Капланов В. И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива : монография / В.И. Капланов. – Мариуполь : Изд-во «Рената», 2008. – 456 с. – ISBN 978-966-7329-92-1. 5. Пат. UA 45010 Україна, МПК<sup>8</sup> В 21 В 1/00. Стан для високошвидкісного холодного прокатування тонких штаб / В.І. Капланов, А.Г. Присяжний, Н.В. Лепорська [та ін.]; заявник та патентовласник Призов. держ. техн.ун-т. – №200904366; заявл. 05.05.09 ; опубл. 26.10.09, Бюл. №20.